

This Page Is Inserted by IFW Operations
and is not a part of the Official Record

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images may include (but are not limited to):

- BLACK BORDERS
- TEXT CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- FADED TEXT
- ILLEGIBLE TEXT
- SKEWED/SLANTED IMAGES
- COLORED PHOTOS
- BLACK OR VERY BLACK AND WHITE DARK PHOTOS ✓
- GRAY SCALE DOCUMENTS

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

**As rescanning documents *will not* correct images,
please do not report the images to the
Image Problem Mailbox.**

10/721.875

**Building Image-Based Cybercities
by Using Vehicle-Mounted Cameras (2)
- Generation of Wide-Range Virtual Environment
by Using Photorealistic Images -
VRSJ Annual Conf.**

M. Hirose*, S. Watanabe*, T. Tanikawa*, T. Endo**, A. Katayama**,
and H. Tamura**

* Faculty of Engineering, The University of Tokyo
7-3-1 Hongo, Bunkyo-ku, Tokyo 113-8656, Japan

** Mixed Reality Systems Laboratory Inc.
6-145 Hanasaki-cho, Nishi-ku, Yokohama 220-0022, Japan

ABSTRACT

To generate sophisticated 3-D virtual environments, the quality of the current VR images should be largely improved. For this purpose, we developed a new image-based walkthrough system. A special automobile which is equipped with 7 cameras, a GPS and a Gyro sensor, is designed to capture real images. This image capturing system produces large-scale image database indexed by positional information. This image database are used to synthesize images from arbitrary view points, and consequently we can browse virtual image space interactively. In this paper, we also analysed the image distortion caused by camera settings quantitatively.

Keywords: Large-scale Photorealistic 3-D Virtual World, Vehicle-Mounted Image Capturing System, Panoramic Image

paper(PDF,1327KB) in japanese

移動車載カメラを用いた電脳映像都市空間の構築 (2) —実写画像を用いた広域仮想空間の生成

Building Image-Based Cybercities by Using Vehicle-Mounted Cameras(2)
- Generation of Wide-Range Virtual Environment by Using Photorealistic Images -

廣瀬 通孝 (1) ○渡辺真二郎 (1) 谷川 智洋 (1)

遠藤 隆明 (2) 片山 昭宏 (2) 田村 秀行 (2)

Michitaka HIROSE(1), Shinjiro WATANABE(1), Tomohiro TANIKAWA(1),
Takaki ENDO(2), Akihiro KATAYAMA(2) and Hidcyuki TAMURA(2)

(1) 東京大学 工学系研究科

(〒113 東京都文京区本郷7-3-1、{hirose,watanabe,tani}@ihl.t.u-tokyo.ac.jp)

(2) (株)MRシステム研究所

(〒220 神奈川県横浜市西区花咲町6-145、{endo,katayama,tamura}@mr-system.co.jp)

Abstract: To generate sophisticated 3-D virtual environments, the quality of the current VR images should be largely improved. For this purpose, we developed a new image-based walkthrough system. A special automobile which is equipped with 7 cameras, a GPS and a Gyro sensor, is designed to capture real images. This image capturing system produces large-scale image database indexed by positional information. This image database are used to synthesize images from arbitrary view points, and consequently we can browse virtual image space interactively. In this paper, we also analysed the image distortion caused by camera settings quantitatively.

Keywords: Large-scale Photorealistic 3-D Virtual World, Vehicle-Mounted Image Capturing System, Panoramic Image

1 はじめに

近年、大規模な仮想空間を構築しようとする試みが多数なされている中で、映像生成の手段としてそのほとんどが三次元モデルのレンダリングという手法を用いている。仮想空間の規模が比較的小さい場合には、専用ジオメトリエンジンが開発された結果、この手法を用いても相当のリアリティを持つ高画質な映像を生成できるようになってきている。しかしながら、例えば都市空間のような広大な仮想空間を生成しようすると、映像の写真的なリアリティはまだまだ不足だといわざるを得ない。

ジオメトリエンジンの能力が向上しても、当面この問題は解決しないと考えられ、大規模な仮想空間の構築には、従来の手法とは異なったものを検討する必要があるのではないかと考えられる。加えて、近年の計算機技術の進歩は、高画質な実写画像を計算機内で処理できるまでになっている。

こうした背景を考えると、大量の実写画像を計算機内に取

り込み、それをもとに広大な仮想空間を構築しようとする考え方は、こうした文脈に沿った自然な発想だといえる。

このような発想のもと、筆者らは実写画像をベースにして街や都市といった大規模な仮想空間を構築するための、車載搭載画像撮影システムを開発しており、本論文では、この撮影システムによって得られた大量の実写画像データベースから、並進2自由度、見回し1自由度の計3自由度の実写画像ウォークスルーシステムを構築する手法を紹介する。

2 3自由度実写画像ウォークスルーシステム

2.1 実写画像ウォークスルーシステムの原理

遠隔地において広域にわたって撮影された実写映像を、ただそのまま再生するのでは、撮影者の没体験をするに過ぎない。しかし、撮影された映像を一枚一枚の独立した画像として扱い、それを体験者の求めに応じて並び替えれば、遠隔地にお

いて、体験者の求める独自の移動経路上をウォークスルーすることができ、そこに3次元の仮想空間を感じることができる。これが、筆者らが考える実写画像を用いた広域空間の生成の原理である。(図1)

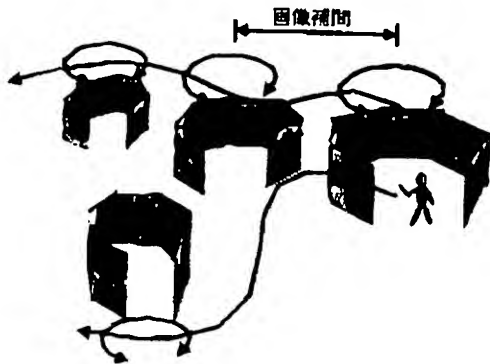


図1: 広域実写画像ウォークスルーの原理

2.2 これまでの研究

体験者の求めに応じて画像を検索、再構成するためには、それぞれの画像が撮影された地点の位置情報を用いるのが有効である。筆者らの研究室では、位置情報を利用した実写画像仮想空間構築のための研究を行ってきた。[1]～[5]

これらは、体験者の求めに最も近い画像をデータベースから選択し、適切な画像補間処理を行なうことによって最適な画像を表示するというものである。ここで問題になったのはカメラを1台しか搭載していなかったために並進の自由度は確保できても、見回し方向の自由度が得られないことと、画像補間を行なうためのプリプロセスの負担が大きいことであった。

2.3 車載搭載型撮影システム

今回開発したのは、見回し方向の自由度も確保するために水平面角 60° のビデオカメラを全周方向に7台配置した車載搭載型の撮影システムである。(図2) [6]

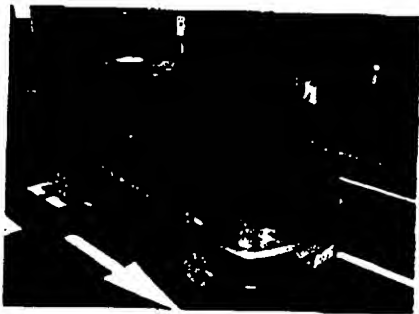


図2: 車載搭載型撮影システム

このシステムで得られた大量の画像データベースを、各地点でのパノラマ画像としてまとめ、体験者が見回しを求めたら

パノラマ画像を順次スクロールさせ、体験者が並進移動を求めたら位置情報をもとに最適な画像を新たに表示する。これを繰り返すことで、並進2自由度見回し1自由度の計3自由度の実写画像ウォークスルーシステムが完成する。この点で、かつてMITで開発されたアスペン・ムービーマップなど[7]よりもインタラクティブ性の高いシステムであると言える。

ただし、今回のシステムではプリプロセスの負担軽減を考慮して画像補間手法は用いず、画像のサンプリングを密にしている。(約 1.7 [frame/m])

また、位置測定のために高性能GPSやジャイロ等も搭載しているが、これらの測定機器についての評価は[8]で述べられている。

3 カメラ配置と撮影中心のずれ

3.1 カメラ配置

今回開発した車載搭載型撮影システムにおける7台のカメラ配置は図3のようにになっている。全て屋根上の同一平面上にあり、それぞれ向いている方向が 51.4° ($= 360 / 7$) づつずれている。

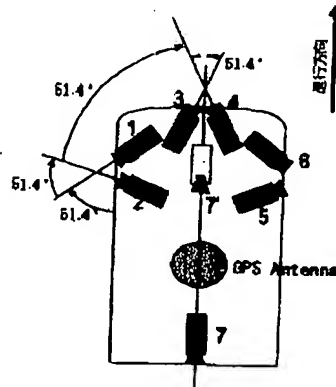


図3: 7台のカメラ配置

カメラ同志や撮影車両の映り込みを防ぐため、各カメラは車両の外縁に配置されなければならない、その制約のもとで撮影中心がなるべく近く、隣合う二つのカメラが対称になるように配置されている。

ここで、カメラ7に関しては、他の6台のカメラよりも時間軸上数フレーム前の画像7' (時速 30km で走行した場合、1フレームで約 28cm 移動) を用いることにより、他の6台のカメラに最も撮影中心に近い画像を得ることができる。

3.2 撮影中心のずれの画像への影響

この配置において、隣り合う二つのカメラ間の撮影中心のずれは表1のようにになっている。

2台のカメラ	カメラ間の撮影中心のずれ (cm)
カメラ1、カメラ2	14.4
カメラ2、カメラ3	49.0
カメラ3、カメラ4	12.3
カメラ4、カメラ5	49.0
カメラ5、カメラ6	14.4
カメラ6、カメラ7	36.9 ~ 39.5°
カメラ7、カメラ1	36.9 ~ 39.5°

表1：各カメラ間の撮影中心のずれ
(*は時速30kmで直進走行した場合で換算)

隣合う二つのカメラはお互いに対称になるように配置されているが、上記のように画像中心が一致していないために、パノラマ画像に変換してつなげると、死角が生じたり像が二重に表示されるなど、整合性が保たれなくなる。これを評価すると以下ようになる。

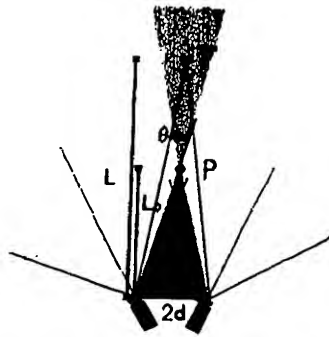


図4：撮影中心のずれによる画像への影響

撮影中心が $2d$ 離れている2台のカメラで撮影された画像について、 L_0 の距離にある対象Pがスムーズにつながるように画像を合成する場合を考える。この場合、図4中の対象Pよりも手前の網かけの部分は全て死角となる。また、Pよりも遠方の網かけの部分にある対象は全て二重に画像に映り込むことになり、例えば $L(L \geq L_0)$ だけ離れた位置にある対象P'は、Pよりも、

$$\theta = \tan^{-1}\left(\frac{L}{d}\right) - \tan^{-1}\left(\frac{L_0}{d}\right)$$

だけ各画像の中央側に映ることになる。よって、2枚の画像をつなげると、対象Pは二重に表示され、二重の像の映る位置の差は、

$$2\theta = 2\left(\tan^{-1}\left(\frac{L}{d}\right) - \tan^{-1}\left(\frac{L_0}{d}\right)\right)$$

となる。

これは、撮影中心が最も離れているカメラ2と3、5と6について計算すると、3m先の対象について画像の離れ目を最適化すると、10m先の対象が 6.5° （距離に換算すると1.1m）、無限遠方の対象が 9.3° の角度差で二重に映ることを示す。

4 パノラマ画像生成

7台のカメラから得られた画像を単純に並べただけでは、スムーズなパノラマ画像は得られない。1枚のパノラマ画像を合

成するには仮想投影面を平面から円筒面に変換する必要がある。図5のように絶対方位 θ_0 の方向を向いた水平面角 $2 \cdot \theta_m$ のカメラによって撮影された画像を考える。

ただし、この画像は縦:2Z、横:2Xの大きさをもつ。

この画像内で画像の中央から縦 z 、横 x の位置にある画像を、円筒投影面上へ投影した場合の平面への投影位置 (θ, x') は、

$$\theta = \tan^{-1}\left(\frac{x}{X} \cdot \tan \theta\right) + \theta_0$$

$$x' = \frac{z}{\sqrt{1 + \left(\frac{x}{X} \cdot \tan \theta\right)^2}}$$

となる。

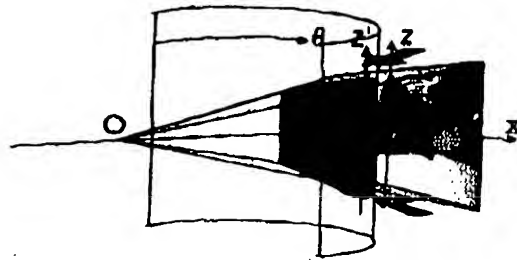


図5：円筒面への画像投影

実際には、まずカメラの球面収差補正を行ない、上記の変換を施して円筒面に投影した画像を得て、これを横一列に並べることによって一枚のパノラマ画像を得ている。また、画像同士の重なり部分はブレンディングを用いることによって連続的に変化させている。図6はその結果である。

7台のカメラで大量に得られた画像データベースを、以上のようにパノラマ画像にまとめていくことで、新たにパノラマ画像のデータベースが出来上がる。これが本ワークスルージステムで用いるソース画像となる。

5 画像表示

5.1 画像表示法と表示速度

前章の方法で得られたパノラマ画像には、それが実空間上のどの位置で撮影されたかという位置情報が付与されている。ウォークスルーの体験者が並進移動を求めた場合は、画像データベースから最も最適なパノラマ画像を、この位置情報をもとに選びだして表示する。また、体験者がその場での見回しを求めた場合には、一枚のパノラマ画像をスクロール表示すればよい。

これらの画像表示を、体験者のインタラクションに対してその都度行ない続けることで、実写画像ウォークスルーができた。

画像表示に関しては、計算機のハードディスクから直接読み出して表示させる方法と、計算機内のメモリに展開させておいてから表示させる方法の両者を試みた。

ハードディスクから読み出す方法は、大量の画像データベースを全て利用することができ、仮想空間の移動範囲に制約がで

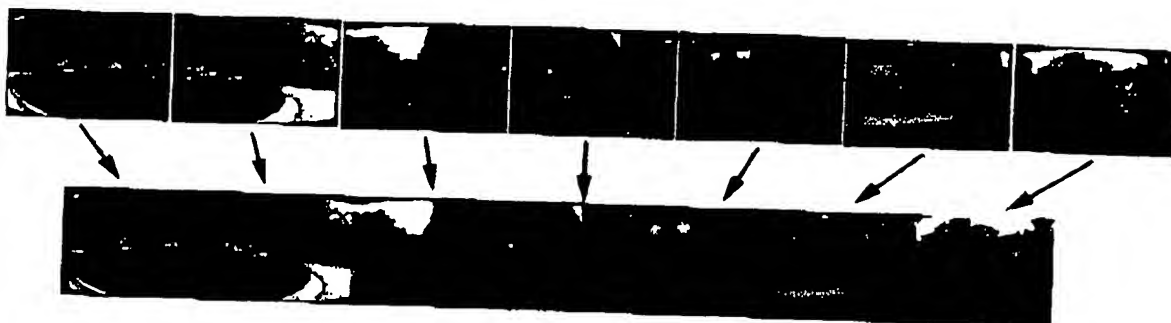


図6：パノラマ画像の生成

ないというメリットがある一方で、画像の転送速度に限界があることから、表示される映像はどうしても不連続なものになってしまう。今回試みた方法は、一枚約 6 [Mbyte] のパノラマ画像を 6 枚の画像に分割し、そのうちの 2 枚分をハードディスクから転送させ、表示するという方法で、ハードディスクから実測 8 [Mbyte/s] の転送速度を持つグラフィックス・ワークステーション上で、約 4 [frame/s] の表示速度を得た。実際の映像を見ると画像の不連続感が気になった。

一方で、画像をメモリに展開してから表示させる手法は、並進移動・見回しの両者ともスムーズに画像が表示され、映像の違和感はなかったが、メモリに展開できるデータ量に限界があり、移動可能範囲の制約が気になった。256 [Mbyte] のメモリを持つグラフィックス・ワークステーション上で、一枚約 6 [Mbyte] のパノラマ画像を約 60 [cm] 間隔で一直線上に並べていった場合、移動可能範囲は約 20 [m] 程度になる。

5.2 データ量

今回構築したワークスルーシステムでは、およそ 60cm 間隔で画像を撮影し、パノラマ画像を生成していった。一枚のパノラマ画像の大きさは 486[pixel] × 4320[pixel] の非圧縮画像で、データ量はおよそ 6 [Mbyte] である。これをもとに計算すると、撮影経路上の一直線上では 1 メートルあたりのデータ量が約 10 [Mbyte] にのぼる。

6 今後の方針

今回構築したシステムは、並進の 2 自由度の他に見回しに 1 自由度を持つ、合計 3 自由度のインタラクティブ性の高い実写画像ワークスルーであったと言える。

このシステムでは、画像補間手法を用いていないために仮想空間構築のためのプリプロセスの負担が少なく、システム構築が容易であった。しかしその反面で、データ量が非常に大きく、画像を計算機内のメモリに展開する場合は移動範囲に大きな制約が生まれることとなった。隣り合うパノラマ画像同士は非常に似ており、画像の冗長度が高いことから今後は画像圧縮技術を応用することでデータ量の軽減が期待でき、また、メモリに展開する場合にはキャッシングを用いることにより効果的な画像表示が可能であろう。

また、現在の車載搭載型撮影システムでは、全周方向にのみカメラを配置し見回しの自由度を確保していたが、全天周方

向にカメラを配置し、各地点での全天周画像を撮影することで、見上げや見下ろしも可能なさらに自由度の高いシステムを構築していくことができるだろう。

今後はこうした点を改善し、システムの有効性を高めていきたい。

参考文献

- [1] M.Hirose, K.Takahashi, T.Koshizuka, T.Morinobu, and Y.Watanabe: "A Study of Image Processing Technology for Synthetic Sensations" *Presence*, Vol.5, No.1, Winter pp.61-pp.71 (1996)
- [2] Y.Watanabe, M.Hirose, K.Takahashi, and T.Koshizuka: " 臨場感体験のための画像編集技術の研究" *Human Interface News and Report*, Vol.9, No.3, pp.273-pp.277 (1994)
- [3] K.Takahashi and T.Koshizuka "臨場感再生のための画像編集技術の研究" B.thesis, The University of Tokyo (1993)
- [4] T.Koshizuka: " デジタル動画の蓄積と編集による仮想空間の合成の研究" B.thesis, The University of Tokyo (1994)
- [5] M.Hirose, S.Watanabe, and R.Miyata: " 実画像を用いた広域 3 次元空間構築に関する研究" *Design and System Conference '96*, pp.159-pp.162 (1996)
- [6] M.Hirose, S.Watanabe, and T.Endo: " 実写画像を用いた広域仮想空間構築のための車載型撮影装置開発と画像補間手法に関する考察" *Human Interface News and Report* Vol.12 No.2, pp.157-pp.162 (1997)
- [7] Lippman A.: "Movie-Maps / An Application of the Optical Videodisc to computer graphics." *Computer Graphics*, Vol.14, No.3, pp.32-42 (1980)
- [8] T.Endo, A.Katayama, H.Tamura, M.Hirose, S.Watanabe and T.Tanikawa: " 移動車両搭載カメラを用いた電脳映像都市空間の構築 (1) -車載カメラ及び位置・姿勢センサの検討" *Proceedings of the Virtual Reality Society of Japan Annual Conference* (1997)